

# **ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE VIGAS DE MADEIRA MACIÇA ARMADAS COM BARRAS DE AÇO CA-50 FIXADAS COM RESINA EPOXÍLICA**

Alexandra Longo Tiscoski (1), Marcio Vito (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1) [xandalg@yahoo.com.br](mailto:xandalg@yahoo.com.br), (2) [marciovito@unesc.net](mailto:marciovito@unesc.net)

## **RESUMO**

Analizando o desempenho estrutural de vigas de madeira, nota-se uma grande deformação quando submetida à aplicação de cargas, reduzindo drasticamente a capacidade de suporte. Desta forma, neste trabalho foi desenvolvido um sistema de reforço para vigas de madeira através da adição de barras de aço CA-50 com resina epoxilica em vigas de *Eucalyptus Citriodora*, criando um modelo de viga de madeira armada com o objetivo de torná-las mais rígidas e consequentemente aumentar sua capacidade de suporte. Foram criados dois grupos de amostras, uma de vigas de referência (puramente de madeira maciça), e outro grupo de vigas armadas, de modo a proporcionar um comparativo em suas propriedades mecânicas. No laboratório foram desenvolvidos os ensaios de umidade, resistência à flexão estática em quatro pontos e ensaio de aderência entre resina/madeira e resina/aço para verificar a eficácia das vigas armadas e compará-las com as vigas de referências. Analisando os resultados dos ensaios, obteve-se nas vigas armadas um ganho de resistência média de 13,25% em comparação com as vigas de referência. Além disso, foi realizado um estudo das vigas armadas após a ruptura e compreendido o comportamento dos diversos elementos envolvidos nos ensaios.

*Palavras-Chave: Madeira-Armada, Resina Epoxilica, Barra de Aço*

## **1. INTRODUÇÃO**

O uso de madeira na construção civil possui uma excelente relação peso específico por capacidade de resistência, garantindo diversas vantagens ligadas diretamente à sua aplicação em sistemas construtivos racionalizados.

[...] Com uma relação peso-resistência muito favorável é um material capaz de transmitir tanto tensões de compressão como tração. Consequentemente a madeira é um material naturalmente apropriado para elementos sujeitos a esforços de flexão. MARTINS (2010, p.1)

A madeira tem muitos aspectos positivos como: sua propriedade ecológica que, para a exploração possui um baixo consumo de energia promovendo benefícios ao meio ambiente; seu desempenho mecânico, que tem uma elevada tensão em direção às

fibras; e o seu comportamento perante o incêndio, que apesar de ser inflamável em função da seção transversal, possui resistência ao fogo. DUARTE (2004, p.1) destaca “[...] a preferência do uso deste material é devido suas propriedades ecológicas, mecânicas, estéticas e o comportamento perante o fogo.”

Este material se faz presente durante todo o período de uma construção, tendo um volume significativo e concorrendo com o aço e concreto. “A madeira depois do aço é o material mais utilizado na construção civil. Em todas as etapas da construção a madeira se faz presente, desde a fundação até o acabamento” (PFEIL, 2003, p.1).

No entanto no Brasil, este material está mais atribuído ao uso em processos temporários como andaimes, fôrmas, escoramentos, entre outros. Raramente encontramos este material sendo utilizado como estrutura, pois possui deslocamento vertical elevado, quando comparada a outros materiais. Durante o dimensionamento da estrutura para minimizar esse efeito, a madeira pode exigir um redimensionamento apresentando um significativo aumento de seção ou redução de vãos. Conforme PFEIL (2003, p. 29), “[...] as células da madeira quando comprimidas são achatadas precocemente, apresentando grandes deformações”.

Analisando os esforços internos no material, percebe-se o rompimento primeiro à área comprimida e conseqüentemente levando ao rompimento das fibras tracionadas.

Quando a madeira é solicitada à flexão simples, ocorrem as tensões: compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, cisalhamento horizontal e nas regiões dos apoios, compressão normal às fibras. A ruptura em peças de madeira solicitadas à flexão ocorre pela formação de minúsculas falhas de compressão seguidas pelo desenvolvimento de enrugamentos de compressão macroscópicos. Este fenômeno gera o aumento da área comprimida na seção e a redução da área tracionada, podendo, eventualmente, romper por tração. (JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003, p.41)

Dentro deste contexto, foi desenvolvido neste trabalho um sistema de reforço para madeira, tanto na área comprimida como na tracionada. Visando diminuir a deformação e aumentar a resistência sem o aumento de seção da peça, através da união de diferentes materiais estruturais. “[...] O reforço visa à melhoria do desempenho estrutural, possibilitando que a estrutura assuma novas exigências funcionais, como uma nova carga ou se adapte a condições ambientais causadas pelas modificações na área.” BRASIL (2008, p.14).

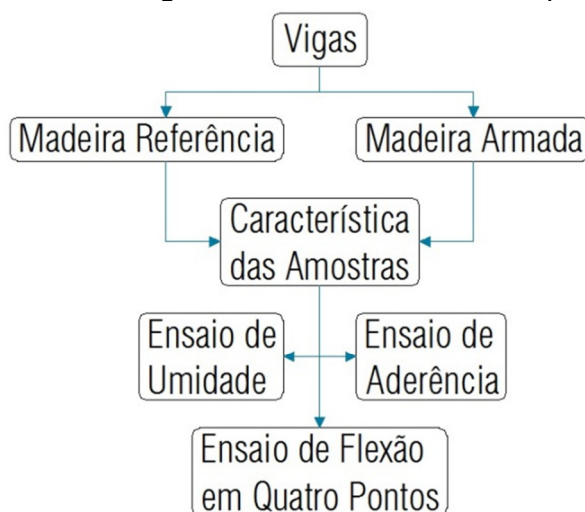
## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados no procedimento experimental foram: madeira do tipo *Eucalyptus Citriodora*, resina epoxídica e barra de aço. Com uma amostra de cinco vigas de madeira maciça, dividindo-se em dois grupos, sendo duas vigas de referência e as outras três utilizando o objeto de estudo deste trabalho que foi desenvolver viga de madeira armada.

As amostras foram submetidas a três ensaios: de flexão estática em quatro pontos para verificar o limite último de resistência; ensaio de aderência para analisar a eficiência entre resina/madeira e resina/aço; e ensaio de umidade para identificar o grau de umidade das amostras.

No fluxograma da Figura 01, é possível analisar os procedimentos adotados em cada etapa.

Figura 01 – Fluxograma do Procedimento Experimental



Fonte: Autor (2014)

### 2.1 CARACTERÍSTICAS DA AMOSTRA

A espécie da madeira utilizada foi do tipo *Eucalyptus Citriodora*, por ser tratar de madeira de reflorestamento e por sua elevada resistência mecânica conforme indicado na Tabela 01, onde os dados foram obtidos no item E.1 da NBR 7190/1997.

Tabela 01 – Propriedades do *Eucalyptus Citriodora*

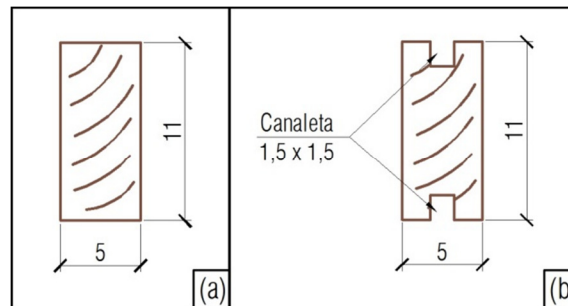
Propriedades de Resistência e Rigidez	Resistência Padrão 12% (kN/cm <sup>2</sup> )
Resistência à compressão ( $f_{c,0}$ )	6,2
Resistência à tração paralela ( $f_{t,0}$ )	12,36
Resistência à tração perpendicular ( $f_{t,90}$ )	0,39
Resistência ao cisalhamento ( $f_{v,0}$ )	1,07
Módulo de Elasticidade (E)	1.842,10

Fonte: NBR 7190/1997

O grupo “A” é composto pelas vigas de referência, com a seção de (5 x 11) cm e área de 55cm<sup>2</sup> (Figura 02-a), tendo comprimento de 200 cm e vão teórico de 190 cm.

As vigas armadas pertencem o grupo “B”, utilizando as mesmas dimensões das vigas de referência, sendo que estas possuem duas canaletas com dimensões de (1,5 x 1,5) cm, conforme (Figura 02-b). As seções transversais se mantêm dentro do mínimo exigido pelo item 10.2.1 da NBR 7190/1997, que é de 5 cm de espessura e área mínima de 50 cm<sup>2</sup>.

Figura 02 – (a) Seção Transversal Vigas de Referência; (b) Seção Transversal Vigas Armadas



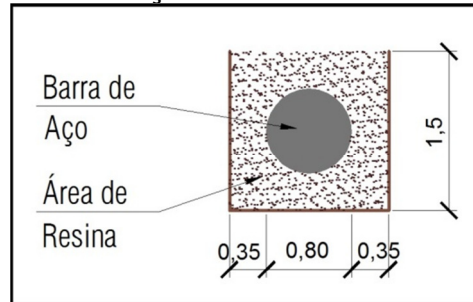
Fonte: Autor (2014)

## 2.2 BARRA DE AÇO

As barras de aço utilizadas foram do tipo aço CA-50 de uso comum na construção civil, inseridas na canaleta (Figura 03), de forma a contribuir na resistência com os esforços de tração e compressão. Conforme DIAS (2003, p.78) “[...] o aço em função da sua resistência, ductilidade e outras propriedades, é adequado para utilização em elementos que suportam cargas”.

O diâmetro nominal utilizado foi de 8 milímetros com a superfície nervurada para garantir uma melhor aderência. Seu comprimento foi de 210 cm, sobrando 5 cm de cada lado da viga para acompanhar seu alongamento durante o ensaio.

Figura 03 – Seção Transversal da Canaleta



Fonte: Autor (2014)

## 2.3 RESINA EPOXÍLICA

A resina epoxílica utilizada na viga armada é designada comercialmente por Anchorbond Tix Quartzolit e é produzida pela empresa Weber Saint-Gobain, com sede em Tubarão/SC.

A preferência por este produto se justifica conforme especificação técnica do fabricante, por possuir aderência tanto ao aço quanto à madeira. Sua viscosidade na fase de aplicação e excelentes propriedades mecânicas, após o período de cura, a resina atinge sua maior resistência à compressão de 7 kN/cm<sup>2</sup>. Este produto também possui resistência à tração, porém o fabricante não informa seu limite último de resistência.

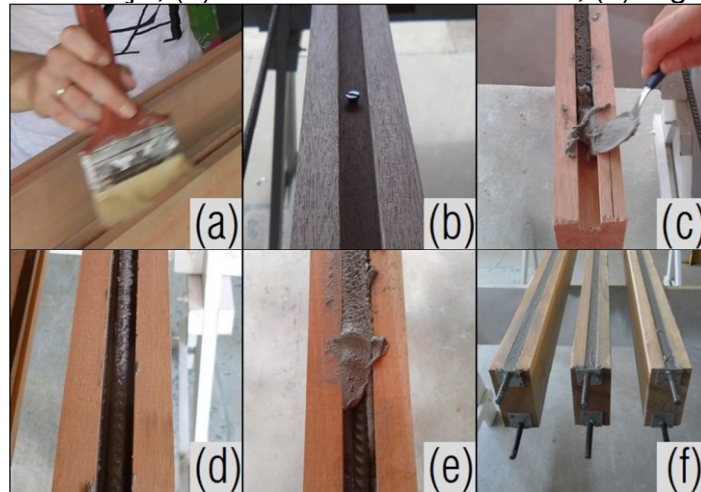
## 2.4 PREPARAÇÃO DA VIGA ARMADA

Primeiramente foi limpa a cavidade da madeira (Figura 04-a) para retirar todo o resíduo ou pó resultante, durante o processo de fabricação da canaleta como também as barras de aço passaram pelo mesmo processo de limpeza. Nesta cavidade, foram inseridos dois parafusos (Figura 04-b) de apoio da barra de aço para garantir o espaçamento centralizado longitudinal.

Em seguida, os componentes da resina (base + endurecedor) foram misturados até formar uma mistura homogênea aplicando a primeira camada de resina na cavidade (Figura 04-c), e inserindo a barra de aço no local determinado (Figura 04-d), logo após preenchido todo o restante da cavidade com resina finalizando um lado da

seção (Figura 04-e). Este processo foi efetuado para as duas cavidades, após finalizar os dois lados da seção (Figura 04-f), as vigas foram armazenadas durante sete dias sem sofrer movimento ou carregamento de acordo com determinação do fabricante para atingir a resistência determinada na especificação técnica.

Figura 04 – (a) Limpeza da cavidade; (b) Parafuso de apoio; (c) Primeira camada de resina; (d) Barra de aço; (e) Última camada de resina; (f) Vigas Finalizadas.



Fonte: Autor (2014)

## 2.5 ENSAIO DE ADERÊNCIA TIPO PUSH – IN

Uma das possíveis causas de ruptura da viga armada pode ser causada devido a aderência entre a resina/madeira ou o resina/aço. Este ensaio chama-se push-in e tem como objetivo mensurar a tensão máxima de aderência entre os materiais. A força máxima é medida, até provocar escorregamento da superfície de ancoragem, este ensaio foi baseado no autor (SILVA, 2014).

Foram utilizadas três amostras para cada ensaio, com um comprimento de ancoragem medindo 3,5 cm. Para determinar a aderência entre resina/aço, as amostras foram preparadas de forma que somente a barra de aço recebe compressão axial, já na aderência resina/madeira a tensão ficou somente no contato da área de resina. Isto para poder causar escorregamento do comprimento de ancoragem nos materiais, de forma a determinar a aderência, e poder medir a força até provocar o escorregamento, para cada ensaio e poder determinar a tensão.



As amostras foram submetidas à prensa hidráulica de modelo PC200I, com capacidade de 2000 kN. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Materiais de Construção Civil (LMCC), localizado no I.Parque – I.DT – UNESC.

## 2.6 ENSAIO DE UMIDADE

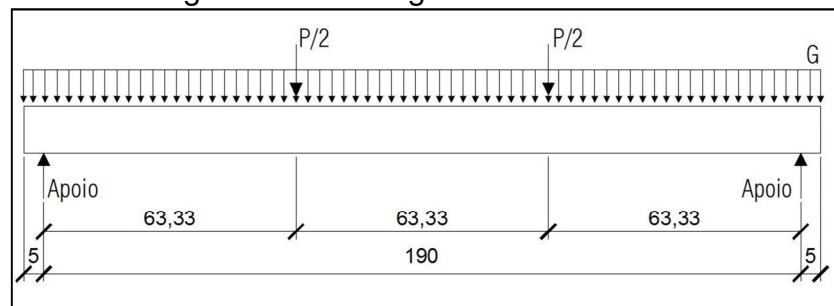
As propriedades mecânicas deste ensaio variam com o teor de umidade da amostra. Portanto, foi necessário determinar o grau de umidade das amostras, conforme especificado no item B.5.4 da NBR 7190/1997, onde se determina a massa específica inicial dos corpos de prova, e posteriormente são mantidos em uma estufa até atingirem massa constante.

Os materiais utilizados neste ensaio foram uma balança e uma estufa. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS), localizado no I.Parque – I.DT – UNESC.

## 2.7 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA EM 4 PONTOS

Os dois grupos de amostras passaram pelo ensaio de resistência à flexão estática em quatro pontos. As vigas foram posicionadas em dois roletes, simulando vínculos de primeira classe, e o carregamento na posição vertical de cima para baixo, localizado nos terços médios do vão teórico conforme Figura 05. Onde temos o carregamento pontual “P” que representa a força submetida através do macaco hidráulico e o carregamento distribuído “G” representando o peso próprio da viga.

Figura 05 – Carregamento da amostra



Fonte: Autor (2014)

### 2.7.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA O ENSAIO A FLEXÃO EM 4 PONTOS

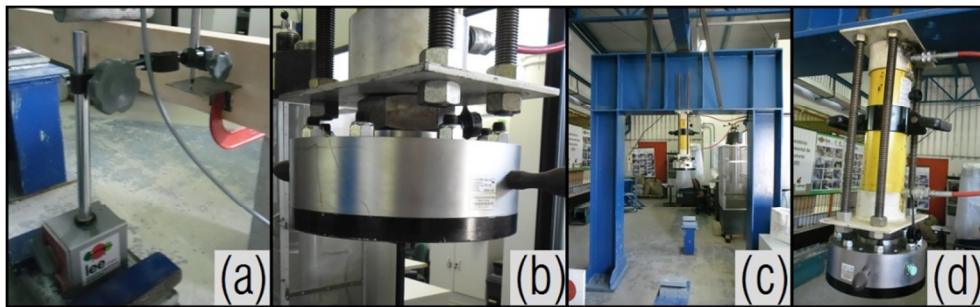
A instrumentação utilizada durante o ensaio teve como objetivo medir o deslocamento vertical e a carga máxima suportada pelas vigas.

Assim foram utilizados sensores de deslocamento linear (LVDT) para medir os deslocamentos verticais no centro do vão teórico e, as células de carga para definir a força aplicada durante o carregamento das vigas nos pontos de aplicação. Estes equipamentos eletrônicos foram interligados ao sistema de aquisição de dados QuantumX MX840A de 8 canais, com interface ao software computacional CatmanEasy, ambos da empresa HBM.

Para reagir com os esforços aplicados no material de estudo foi utilizado o pórtico de reação, onde o mesmo possui rigidez garantindo que as deformações geradas pelas forças de reação não influenciem no estudo. Acoplado no pórtico de reação temos o macaco hidráulico, que tem a finalidade de transmitir a carga para a viga.

Na Figura 6, temos todos os equipamentos utilizados no ensaio que foi realizado no Laboratório de Estruturas (LEE), localizado no I.Parque – I.DT – UNESC.

Figura 06 – (a) LVDT; (b) Célula de Carga; (c) Pórtico de reação; (d) Macaco Hidráulico



Fonte: Autor (2014)

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item serão apresentados e discutidos os resultados obtidos nos ensaios realizados para cada grupo de amostra, proposto no item 2.

### 3.1 ENSAIO DAS VIGAS DE REFERÊNCIA

As vigas de referência foram posicionadas no pórtico de reação e aplicadas a carga até a ruptura, através do ensaio obteve-se as forças máximas e então transformadas para tensões. Esses valores estão descritos na Tabela 02, onde mostra as tensões



máximas obtidas no ensaio, e valores calculados com base na NBR 7190/1997. Quando comparadas as tensões atuantes e calculadas, foram obtidos valores próximos, comprovando a veracidade do ensaio.

Foram rompidas duas amostras deste grupo, pois eram apenas para fazer um comparativo com o cálculo, não sendo o fator mais importante deste estudo.

**Tabela 02 – Resultados da Viga de Referência Comparadas com NBR7190/1997**  
**Resistência de Ensaio na Viga de Referência**

Vigas	Carga Máxima (kN)	E (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_f$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{c,d}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{t,d}$ (kN/cm <sup>2</sup> )
A1	26,40	1773,76	8,32	2,77	8,32
A2	30,14	1890,34	9,50	3,17	9,50
<b>Média</b>	<b>28,27</b>	<b>1832,05</b>	<b>8,91</b>	<b>2,97</b>	<b>8,91</b>
Desvio Padrão	2,64	82,43	0,83	0,28	0,83

<b>Resistência Normalizada</b>					
Viga	Carga Máxima (kN)	E (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{cw,0d}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{t,0d}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	
(5 x 11 x 190)	18,77	884,21	2,98	5,93	

Fonte: Autor (2014)

Onde:

E – módulo de elasticidade;

$\sigma_{f,d}$  – tensão de flexão atuante;

$\sigma_{c,d}$  – tensão de compressão atuante;

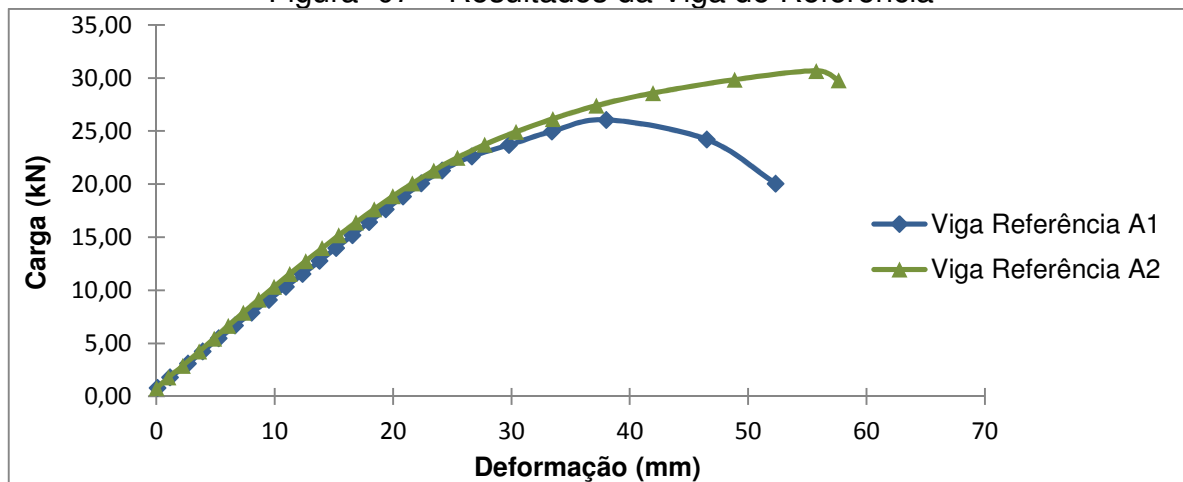
$\sigma_{t,d}$  – tensão de tração atuante;

$f_{cw,0d}$  – resistência à compressão paralela às fibras;

$f_{t,0d}$  – resistência à tração paralela as fibras.

Analisando a Figura 07 quanto à resistência das vigas, percebe-se que elas possuem a mesma deformação de acordo com aumento da aplicação da carga, apresentando a partir de 25 kN de carga deformações diferenciadas. Ou seja, até próximo da carga limite calculada, elas possuíram uma relação proporcional de carga e deformação, quando chegam próximo ao limite de ruptura, sua deformação passa a aumentar consideradamente, chegando à ruptura.

Figura 07 – Resultados da Viga de Referência

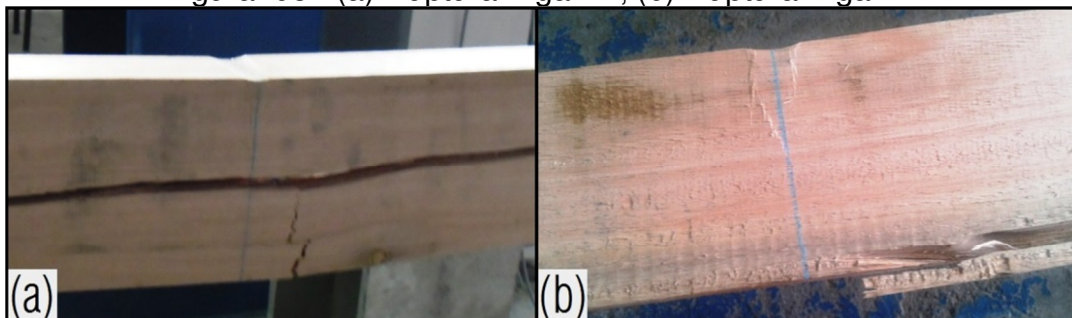


Fonte: Autor (2014)

A ruptura na viga A1 se desenvolveu por esforço de compressão normal às fibras, causando consequentemente cisalhamento na linha neutra. Conforme (JUNIOR; LAHR; DIAS, 2003, p. 40). “Quando este plano é perpendicular às fibras, a madeira apresenta alta resistência pelo fato da ruptura cisalhar esses elementos. Antes de romper por cisalhamento, certamente a peça já apresentará problemas de resistência na compressão normal.” Na (Figura 08-a) podemos observar este fato, onde a viga possui um esmagamento das fibras acima da ruptura, comprovando que o rompimento por compressão, gerou cisalhamento.

Já na viga A2, a ruptura inicialmente visível foi por esforço de tração, no entanto podemos observar na (Figura 08-b), que também possui um esmagamento na área de compressão. A partir deste fato percebeu-se que a ruptura também se desenvolveu primeiro na área comprimida, causando o rompimento por tração logo abaixo. Conforme já citado, esse fenômeno se dá por um aumento da área comprimida na seção e redução da tracionada, vindo a romper por tração.

Figura 08– (a) Ruptura Viga A1; (b) Ruptura Viga A2



Fonte: Autor (2014)

### 3.2 ENSAIO DAS VIGAS ARMADAS

O ensaio do grupo das vigas armadas procedeu da mesma maneira do grupo anterior. Obtendo um aumento de tensões quando comparadas com as vigas de referência, conforme Tabela 03.

Tabela 03 – Resultados da Viga Armada Comparada com a Viga de Referência

Resistência de Ensaio na Viga Armada					
Vigas	Carga Máxima (kN)	E (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_f$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{c,d}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{t,d}$ (kN/cm <sup>2</sup> )
B1	36,69	3019,95	11,54	3,85	11,54
B2	31,47	2691,20	9,91	3,30	9,91
B3	27,87	2238,35	8,78	2,93	8,78
<b>Média</b>	<b>32,01</b>	<b>2649,83</b>	<b>10,08</b>	<b>3,36</b>	<b>10,08</b>
Desvio Padrão	4,43	392,44	1,39	0,46	1,39

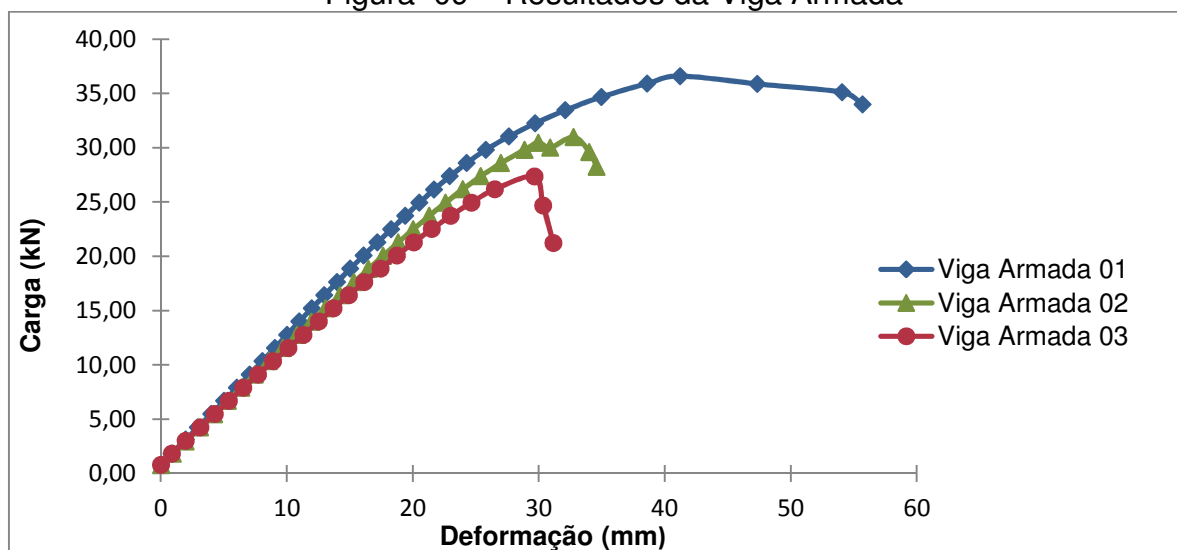
  

Resistência de Ensaio na Viga de Referência					
Vigas	Carga Máxima (kN)	E (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_f$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{c,d}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{t,d}$ (kN/cm <sup>2</sup> )
A1	26,40	1773,76	8,32	2,77	8,32
A2	30,14	1890,34	9,50	3,17	9,50
<b>Média</b>	<b>28,27</b>	<b>1832,05</b>	<b>8,91</b>	<b>2,97</b>	<b>8,91</b>
Desvio Padrão	2,64	82,43	0,83	0,28	0,83

Fonte: Autor (2014)

Analisando o comportamento das três amostras na Figura 09, pode-se verificar que ambas tiveram um comportamento similar. E também após a carga de 25 kN, elas sofrem grandes deformações.

Figura 09 – Resultados da Viga Armada

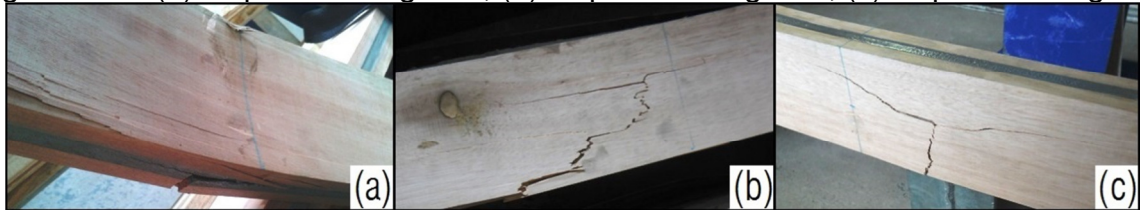


Fonte: Autor (2014)

A ruptura da viga B1 obteve uma grande área de seção comprimida, indicada na (Figura 10-a), causando a redução de área tracionada e consequentemente rompimento a tração devido à compressão normal.

Já as vigas B2 e B3, tiveram menor área de esforço à compressão normal visível, porém esse esforço gerou ruptura por cisalhamento, indicado na (Figura 10 – b,c).

Figura 10 – (a) Ruptura da Viga B1; (b) Ruptura da Viga B2; (c) Ruptura da Viga B3



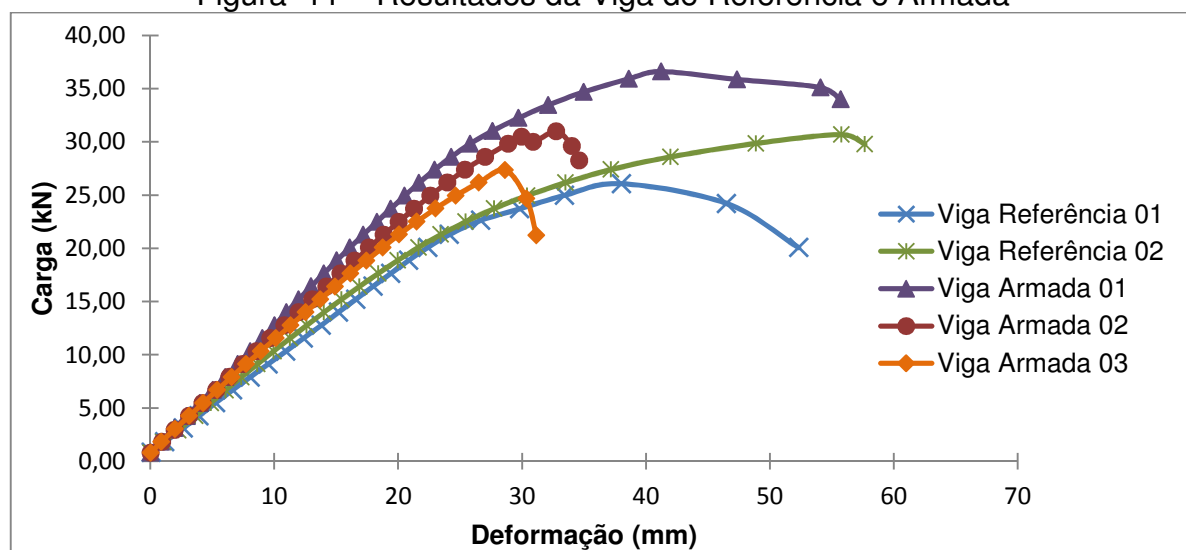
Fonte: Autor (2014)

### 3.3 COMPARAÇÕES ENTRE AS VIGAS

Analizando as rupturas dos dois grupos, percebe-se que ambas foram causadas pelo esforço de compressão normal, que geraram as rupturas por cisalhamento ou tração.

No entanto o grupo das vigas armadas resistiu em média 13,25% a mais quando comparadas com as vigas de referência. Este ganho de resistência é visível na Figura 11, que possui a união de ambos os grupos.

Figura 11 – Resultados da Viga de Referência e Armada



Fonte: Autor (2014)

### 3.4 CORREÇÃO DOS PARÂMETROS

Neste ensaio o valor encontrado na amostra foi de 28% de umidade, para ambos os grupos de vigas, que se enquadra à classe de umidade 4. Então foi efetuada a correção das propriedades de resistência e rigidez da umidade ideal de 12%, com relação ao coeficiente de modificação conforme item 6.4.4 da NBR 7190/1997 informado na Tabela 04.

Tabela 04 – Correção da Umidade

Propriedades de Resistência e Rigidez	Resistência Padrão 12% (kN)	Resistencia Corrigida á 12% (kN)
Resistência à compressão ( $f_{co}$ )	6,2	2,98
Resistência à tração paralela ( $f_{t,0}$ )	12,36	5,93
Resistência à tração perpendicular ( $f_{t,90}$ )	0,39	0,18
Resistencia ao cisalhamento ( $f_{v,0}$ )	1,07	0,51
Módulo de Elasticidade (E)	1.842,10	884,21

Fonte: Autor (2014)

### 3.5 ENSAIO ADERÊNCIA

#### 3.5.1 ENTRE RESINA E MADEIRA

O ensaio consistiu em aplicar uma força na área de resina, para causar um escorregamento na madeira, produzindo a separação deste material. Nos três corpos de provas com a aplicação da força, ocorreu o rompimento nas fibras da madeira, não sendo possível medir a aderência entre a madeira/resina, conforme Figura 12.

Figura 12 – Ruptura de Aderência entre a Resina e Madeira



Fonte: Autor (2014)

Foi possível constatar que a aderência entre esses dois materiais corresponde a exigência pela norma, não ocorrendo a separação seguindo a prescrição da NBR 7190/97 no item 8.1.3 onde cita “[...] a resistência da junta colada deve ser no

mínimo igual à resistência de cisalhamento longitudinal da madeira”. Já constatado isso no ensaio de flexão onde nenhum momento a resina se desprende da madeira.

### 3.5.2 ENTRE RESINA E AÇO.

Este ensaio constituiu em aplicar uma força na barra de aço, para causar escorregamento do aço entre a resina e poder medir a aderência. Conforme Tabela 05, onde demonstra a força e a tensão em cada amostra.

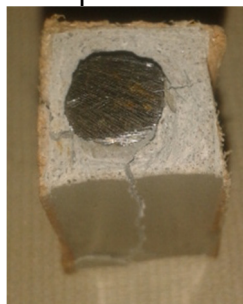
Tabela 05 – Aderência entre aço/resina

Corpo de Prova	Força (kN)	Tensão (kN/cm <sup>2</sup> )
CP 01	15,40	1,75
CP 02	14,20	1,61
CP 03	15,80	1,80
<b>Média</b>	<b>15,13</b>	<b>1,72</b>
Desvio Padrão	0,83	0,09

Fonte: Autor (2014)

Nas três amostras a força aplicada causou o escorregamento da barra de aço junto com a fissura da resina em todo seu comprimento de ancoragem, conforme Figura 13.

Figura 13 – Corpo de Prova Fissurado



Fonte: Autor (2014)

### 3.6 COMPORTAMENTO DA VIGA ARMADA.

O reforço das vigas armadas não apresentou resultados de acordo com esperado. Feita uma análise após a ruptura, notou-se que o aço não teve funcionalidade, devido a sua ductilidade ser maior que a madeira, pois muito antes do aço começar a ser exigido, a madeira já estava no seu estado de ruptura. Conforme MARTINS (2010, p.5) “[...] a madeira apresenta deformações plásticas reduzidas mostra uma



ductilidade bastante menor, comparativamente ao aço, ainda assim é um material com uma ductilidade não desprezável.”

O aumento de resistência obtido pelo reforço atribui-se a resina, fazendo com que as vigas se tornem mais rígidas e absorvam melhor as cargas.

Na parte superior da viga obteve-se compressão na área da resina, causando tensão na área de contato entre resina/madeira devido à deformação. Porém, a ligação entre estes materiais funcionou muito bem, pois em nenhum momento dos ensaios notou-se um descolamento na união destes materiais (já comprovado em ensaio de aderência). Entretanto o reforço superior (na zona comprimida) da seção foi muito eficaz, aumentando a resistência de compressão atuante que é a grande causadora de rupturas.

Porém, na parte inferior das vigas, a resina foi exigida devido à tração causada pela deformação. Na área de contato entre madeira/resina em momento algum houve a separação deste material, no entanto o contato entre resina/aço observou-se que o aço alongou juntamente com a madeira, e a tensão de aderência não foi suficiente para suportar tal deformação rompendo na ligação destes materiais, conforme Figura 14.

Figura 14 – Ruptura entre Resina/Aço



Fonte: Autor (2014)

Portanto, o aumento de resistência das vigas armadas foi causado pela resina que aumentou a resistência de compressão atuante das vigas. Caso o revestimento de resina na parte inferior fosse maior poderia se ter um maior confinamento de resina e proporcionar uma maior aderência entre aço/resina. Podendo se obter maiores valores de carga nas vigas, pois aumentaria a tensão atuante na seção tracionada.

#### 4. CONCLUSÕES

Analisando os valores dos ensaios, conclui-se que as vigas armadas obtiveram um aumento de resistência quando comparadas com as vigas de referência.

No entanto, o reforço não chegou a resultados esperados, um dos motivos pode ser relacionado a elevada ductilidade do aço não sendo exigido durante o processo de deformação da madeira. A madeira já estava com uma deformação elevada ao ponto de ruptura e o aço em estado de deslocamento sem deformação. Segundo LUBLINER (1990), “um corpo sofre deslocamento de corpo rígido, se a distância entre todas as suas partículas não sofrem mudança, do contrario é deformação.”

A resina possui uma união com a madeira de acordo com exigido pela NBR 7190/97, atendendo as necessidades de solicitação aplicada entre madeira e resina, proporcionando um aumento na tensão de compressão para as vigas ensaiadas.

Nos de ensaios realizados, a compressão foi um fator determinante na resistência ao colapso e a união madeira/resina colaborou de forma significativa para alívio destas tensões, visto que no ensaio de aderência estes dois materiais atuaram de maneira coesa, comprovando a sua eficácia nesta junção. Já no contanto entre resina/aço não foi satisfatório, quando o reforço exigiu desta união os materiais soltaram. Podemos afirmar que este fato não foi possível sua perfeita determinação em função do aço não ter atingido o ponto de alongamento e conseqüentemente ser exigido à deformação. Este fator poderia ter sido observado caso os vínculos utilizados e disponíveis fossem do tipo engastado e não simplesmente apoiados.

Portanto fica como sugestão a trabalhos futuros, fazer um engastamento do aço no sistema de reforço, exigindo do aço a sua participação no conjunto como um material determinante na capacidade de resistência da viga.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.

BRASIL, Douglas Rodriguez. **Utilização de estruturas de aço na recuperação de estruturas de madeira**. 2008. 86p. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estrutura de Aço: conceito, técnicas e linguagem**. 6.ed. São Paulo: Zigurate, 2008. 295p.

DUARTE, António Carlos Ruivo. **Reabilitação de elementos estruturais de madeira com argamassa epoxídica armada**. 2004. 189p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Ciências Tecnológica de Coimbra, Coimbra/PT.

JUNIOR, Carlito Calil; LAHR, Francisco Antonio Rocco; DIAS, Antonio Alves. **Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira**. São Paulo: Manole, 2003. 152p.

LUBLINER, Jacob. **Plasticity Theory**. New York, Macmillan Publishing Company, 1990.

MARTINS, Tomás Francisco Ribeiro Mendes. **Dimensionamento de Estruturas de Madeira: Coberturas e Pavimento**. 2010. 151p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Técnica de Lisboa – IST, Lisboa/PT.

PFEIL, Walter. **Estruturas de madeira: dimensionamento segundo a NBR 7190/97 e critérios das normas americanas NDS e europeia EUROCODE 5**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 224p.

SILVA, Bruno do Vale. **Proposição de um teste de aderência para o controle tecnológico da resistência à compressão do concreto**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2014.